

# 泡沫金属材料在车辆抗冲击性能方面的研究与展望

王建 封伟民 胡晓飞  
中车大连公司机械装备分公司

**摘要：**泡沫金属材料具有轻质、良好的能量吸收性和阻尼性能好等优点，可被应用在车辆的阻尼减震、抗冲击等多个零部件及部位上。本文首先制备了不同孔隙率的泡沫镁材料，然后分别对其做了压缩性能测试和冲击性能测试，结果表明泡沫金属材料的孔隙率越大，其能量吸收性就越好；当泡沫材料受到高速撞击时，可以将巨大的冲力缓冲掉大部分进而使整体免受严重的损害，因而其表现出了可替代传统车辆车门、发动机与机舱间的隔音材料及车头等部位的广阔应用前景。

**关键词：**泡沫镁；孔隙率；压缩性能；抗冲击性能

## 引言

在自然界中，许多天然材料由于其多孔的结构而具有优良的性能，根据这一发现，发展出了多种人造多孔材料，多孔金属材料就是其中重要的一种。

多孔金属材料又称为泡沫金属，实际上是金属与气体的复合材料，从而使其既具备金属的特性，又拥有一些金属材料所没有的优良性能。

泡沫金属多是由轻质金属制备而得，由于其轻质和良好的能量吸收性可被应用在多个领域，例如在车辆行业中，可用于机车车门的填充、发动机与机舱间的隔音材料、机车壳体材料以及隔热材料、减振材料、冲击能量吸收材料、电磁屏蔽材料等<sup>[2]</sup>。

## 一、泡沫材料的制备

本文采用熔体发泡法制备闭孔泡沫镁，即需要分别进行熔体阻燃、熔体增粘、添加发泡剂、保温发泡和冷却等五个部分完成，各部分对应的试验原料及成分如下：

(1) 基体材料：山西闻喜银光镁业生产的AZ91D镁合金；

表1 AZ91D镁合金的成分<sup>[3]</sup>

Mg	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Ni	Fe
余量	8.5~9.5	0.45~0.90	0.17~0.4	≤0.05	≤0.025	≤0.001	≤0.004

(2) 阻燃剂：岳阳昱华冶金新材料有限公司生产的镁钙合金（Ca含量为20%的Mg-Ca合金）；

(3) 增粘剂：白鸽集团有限公司生产的10 μm的绿色碳化硅颗粒（SiC，纯度大于99.5%）；

(4) 发泡剂：辽宁省海城市鑫和镁制品有限公司提供的菱镁矿石粉（MgCO<sub>3</sub>），如图1所示。



图1 初始菱镁矿石颗粒

具体制备过程为：在710℃向AZ91基体中加入2.0wt%的Ca块阻燃；而后在550℃加入15%的10 μm SiC颗粒增粘，以1200r/min的速度搅拌10min；继续向混合的熔体里加入1.5wt%的200目

MgCO<sub>3</sub>发泡剂，以1500r/min的速度搅拌1min；迅速提出搅拌器，在585℃保温发泡，保温时间为15min；最后直接提出坩埚在空气中冷却，获得泡沫镁。

## 二、泡沫镁的压缩性能测试

压缩试验在Instron-5569万能材料试验机上进行。试样尺寸与孔洞尺寸的比例对泡沫镁的力学性能有一定影响<sup>[4]</sup>，当这个比例大于7时，可以近似忽略边界效应。考虑到制得的泡沫镁孔径较大的孔洞尺寸可达毫米级，所以选择线切割得到Φ10×15mm的圆柱体试样，再用游标卡尺测得其精确尺寸。

### (一) 泡沫镁材料与基体复合材料的应力-应变曲线对比

孔隙率为71.2%的闭孔泡沫镁和铸态SiCp/AZ91复合材料即对照试样的压缩应力-应变曲线，可以发现无孔复合材料的抗压强度要比泡沫镁材料高很多，但是形变率很低，只有7.5%左右，达到所能承受的最大载荷后即被压断。

在初始时载荷较小，泡沫镁处于弹性变形阶段，随着位移的增加，载荷逐渐增加，泡沫镁孔洞的孔壁发生弹性变形，应力所做的功转化为弹性变形能储存在泡沫镁的孔洞中，如果此时撤去外力，泡沫镁材料可以恢复原状。

### (二) 孔隙率大小对泡沫镁材料压缩性能的影响

孔隙率是衡量泡沫镁最重要的参数之一，同时孔隙率的大小也会影响泡沫镁材料的强度及其在压缩应力下的变形状态，因此为了探索孔隙率对泡沫镁压缩性能的影响，我们分别选取了增粘剂体积分数为15%、平均孔径在0.3mm左右的不同孔隙率的泡沫镁试样进行压缩性能测试，分析其应力-应变曲线特征并解释原因。试验仍然在Instron-5569万能材料试验机上进行，压缩速率为1mm/min。

## 三、泡沫镁的冲击性能测试

泡沫镁由于其大量孔洞的存在导致其强度较低，不能直接将弹丸打在试样上（容易被打穿），故本文设计了一种夹层结构，将泡沫镁试样放在这种结构的中间，这样再对其进行冲击测试时就可以通过夹层结构与对照试样（SiCp/AZ91复合材料）的弹坑深度来表征泡沫镁的抗冲击性能好坏。

## 四、泡沫材料在车辆减震抗冲击性能方面的应用展望

从泡沫材料的压缩应力-应变曲线和冲击性能测试结果可以看出，泡沫材料在受到压缩应力时表现出良好的能量吸收性，这种性能比传统的高硬度钢材或复合材料等都要优异；当泡沫材料受到高速撞击时，可以将巨大的冲力缓冲掉大部分进而使整体免受严重的损害，由此我们推测，发生碰撞或高速撞击时泡沫材料的减震和抗冲击作用就可以很好的体现出来，进而使车辆和内部的乘客免受伤害，可见泡沫金属材料在车辆等领域具有广阔的应用前景，我们需要不断对其进行探索改进，争取早日应用到实际中。

## 参考文献

[1] 刘荣, 刘红梅, 赵昕等. 铸造镁合金泡沫复合材料的组织及缓冲性能研究[J]. 铸造, 2006, 55(1): 40-42.  
 [2] 刘小丽, 赵维民, 王志峰, 等. 熔体发泡法制备泡沫镁合金的缺陷分析[C]. 2008中国铸造活动周论文集. 2008: 683-686.  
 [3] YANG D H, YANG Y S, WANG H, et al. Compressive properties of cellular Mg foams fabricated by melt-foaming method[J]. Materials Science and Engineering A, 2010, 527: 5405-5409.  
 [4] 徐梦欣, 王录才, 王芳, 游晓红, 武建国. 镁合金泡沫化研究进展[J]. 太原: 太原科技大学, 2010(3): 46-48.